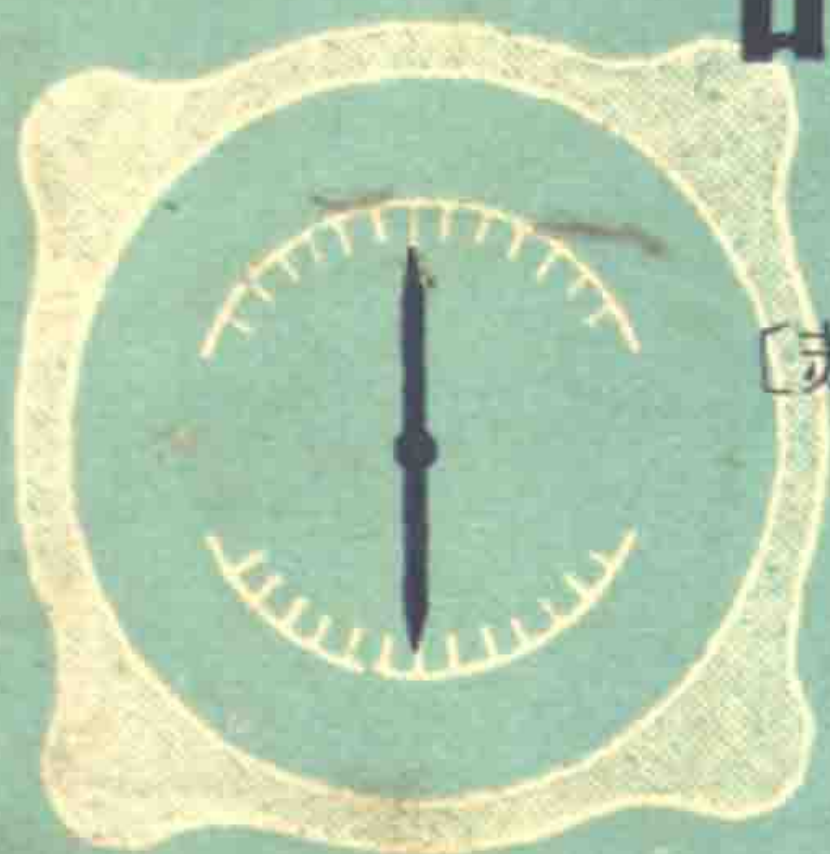


航空仪表零件 部件及其计算



[苏联] Б. А. 阿斯、Н. М. 茹科娃著

国防工业出版社

航空仪表零件部件 及其计算

[苏联] Б. А. 阿斯、Н. М. 茹科娃著
温波译



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

书中叙述了航空仪表中各种常用的敏感元件和电傳感器(彈性的, 双金屬的, 慣性的, 电位計式的, 电容式的, 电感式的, 应变計式的, 压电式的, 热电偶, 热敏电阻等)、傳动放大机构、支承、阻尼器、陀螺仪表元件、讀数装置等典型元件的結構原理和計算方法, 并列举了許多計算实例。

本书可供有关工业院校学生作課程設計和毕业設計时 使用, 对于航空仪表制造专业的工程技术人员亦有参考价值。

ДЕТАЛИ И УЗЛЫ АВИАЦИОННЫХ И ИХ РАСЧЕТ

〔苏联〕Б. А. Асс и Н. М. Жукова
ОБОРОНГИЗ 1960

*

航空仪表零件部件及其計算

溫 波 譯

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張11¹/₂ 294 千字

1965年3月第一版 1965年3月第一次印刷 印数: 0,001—2,500册

統一书号: 15034·802 定价: (科七) 1.90 元

目 录

譯者的話	6
第一章 航空仪表及其工作条件概述	7
§ 1 测量的概念	7
§ 2 远讀式仪表的基本組成部分和結構图	7
§ 3 航空仪表的工作条件	9
§ 4 对仪表元件总的技术要求	11
第二章 敏感元件(傳感器)	12
§ 5 敏感元件的特性和分类	12
§ 6 彈性敏感元件	16
彈簧.....	27
膜片和膜盒.....	60
波紋管.....	80
管彈簧.....	90
§ 7 双金屬敏感元件	99
§ 8 慣性敏感元件	109
§ 9 变阻器和电位計	114
§ 10 电解式傳感器	129
§ 11 張綫式傳感器	132
§ 12 电阻溫度計式傳感器	140
§ 13 炭质傳感器	145
§ 14 热电式傳感器	147
§ 15 电容式傳感器	155
§ 16 电感式和感应式傳感器	162
电感式傳感器.....	162
感应式傳感器.....	168
§ 17 光电傳感器	182
§ 18 电子管式傳感器	184
§ 19 压电式傳感器	185
§ 20 永久磁鉄	192

§ 21 磁电系統	205
电流計的磁电系統.....	206
电流比計的磁电系統.....	209
磁电式力矩傳感器.....	213
§ 22 电磁系統	215
§ 23 电动系統和鉄磁电动系統(动鉄系統)	216
§ 24 感应系統	219
第三章 仪表机构	223
§ 25 傳动放大机构	223
曲柄連杆傳动机构.....	225
凸輪傳动机构.....	229
撥杆傳动机构.....	233
搖拐傳动机构.....	235
齿輪傳动机构.....	240
§ 26 仪表机构中的双金屬补偿	242
§ 27 保証直綫运动的机构	252
§ 28 作数学运算的机构	253
加法机构.....	253
乘法机构.....	256
三角运算机构.....	261
微分和积分机构.....	263
第四章 支承	266
§ 29 仪表支承的一般要求和分类	266
§ 30 圓柱支承	267
§ 31 頂針支承	272
§ 32 球面支承(軸尖支承)	274
§ 33 滾珠軸承	282
§ 34 刀刃支承(棱形支承)	293
§ 35 彈性支承	296
§ 36 空气軸承	299
第五章 阻尼器和减震器	304
§ 37 概述	304
§ 38 阻尼器	317
§ 39 减震器	322

第六章 触头	330
§ 40 触头的計算	330
§ 41 小功率触头的結構	338
第七章 陀螺仪表元件	339
§ 42 概述	339
§ 43 陀螺馬达	341
§ 44 陀螺仪表的支承	350
§ 45 陀螺仪表中的导电装置	354
第八章 讀数装置, 壳体, 安装零件	357
§ 46 讀数装置	357
刻度.....	357
指針.....	359
§ 47 壳体	361
§ 48 安装和固紧零件	364
固定环.....	364
接管嘴.....	364
插銷接头.....	365
参考文献	366

譯 者 的 話

航空仪表的种类繁多，按其功用可以分为：发动机仪表和航行駕駛仪表两种基本类型，前者用来測量航空发动机主軸的轉速、航空发动机中潤滑油、燃油、冷却液的溫度和压力、燃油消耗量等的數據；后者用来測量飞行速度以及指示航向和飞机在空間的方位等。各种仪表中均有許多执行各种功能的典型元件（零件和部件）。

对航空仪表的基本要求是可靠和准确。为了正确地执行飞行任务，不仅要求仪表在預定的時間內能可靠地工作，而且要求在任何飞行条件下給出准确的指示。为此，必須对仪表元件的功能及其可靠性提出严格的要求。对仪表元件进行正确的設計計算是获得高质量仪表的先决条件。

原书是根据苏联航空仪表制造中等专业学校“航空仪表零件計算”課程的教学大綱編写的。书中广泛地敘述了航空仪表中各种机械式元件、机电元件及电气元件，系統地論述了这些元件的原理、結構、計算及材料；并在敘述每个仪表元件的結構原理、計算方法及材料选用等問題之后，均列举計算实例；此外，书中各章均汇编了許多参考資料。

原书的序言和第一章是作者共同編写的；第二章 § 9～§ 24，第三章 § 28，第六、七、八章由阿斯（Б. А. Акс）編写；第二章 § 5～§ 8，第三章 § 25～§ 27，第四、五章由茹科娃（Н. М. Жукова）編写。原书的前言和序言刪去未譯。

限于譯者水平，錯誤疏忽之处在所难免，尚希讀者批評指正。

第一章 航空仪表及其工作条件概述

§1 测量的概念

所謂测量就是在被测量的量与事先为它选定的作为計量单位的标准量之間建立一定的数量关系。在实用中有两种测量方法：直接测量和間接测量。直接测量是将被测量的量直接与为它选定的計量单位进行比较。例如，测量长度时直接与直尺比較；测量质量时直接与砝碼比較等。間接测量不是直接去测量被测量的量，而是测量与被测量的量有一定函数关系的另一个量。下面我們討論最典型的仪表之一——远讀式仪表的結構图。

§2 远讀式仪表的基本組成部分和結構图

任何远讀式仪表都有三个基本組成部分：受感部（傳感器）、远距联接綫和指示器。其指示器都可远离测量地点，而获得对某一量的測量結果。

这种仪表的受感部安装在进行测量的部位，感受被测量的任何变化。它可将某个物理量“傳給”后續的仪表元件；因此，有时亦把它叫做仪表的傳感器（如轉速表傳感器、油量表傳感器等）。在某些教科书中受感部亦称为仪表的敏感元件。

远距联接綫是用来联接受感部和指示器的。这种联接綫按其物理本质可以是机械的、液压的、气动的和电动的。

指示器通常安装在飞机的仪表板上，利用讀数装置指示出測量結果；讀数装置多半是帶有指針的刻度盘。

在远讀式仪表中，测量过程最終要表现为指示器指針的角位移或綫位移。在复杂的仪表中，为使测量結果更便于傳遞到后續的仪表元件上，采用了将物理量逐次变换的方法。

現將測量压力的电动机械式远讀压力表作为远讀式仪表的例子来討論，其結構图如图 1.16 所示。在这个仪表中，将压力測

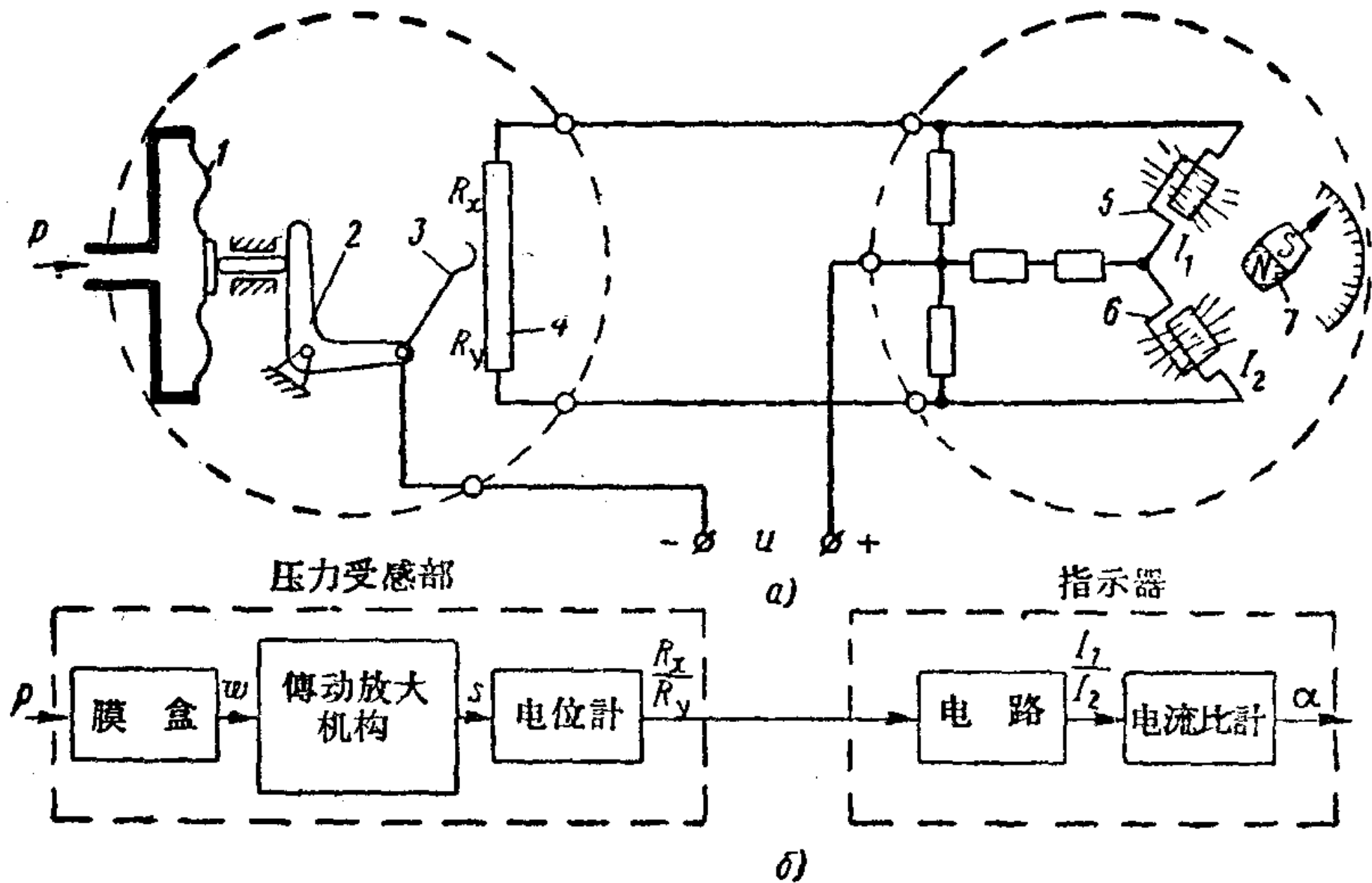


图1.1 电气机械式远讀压力表的原理图 (a) 和結構图 (b)；

1—膜盒；2—傳动放大机构；3—电刷；4—电位計；5、6—电流比計的綫框；7—指示器的活动磁鉄。

量的結果傳遞到指示器要經過五次中間变换；在这些变换中，被测物理量的性质逐次改变。如压力表的第一个元件，即膜盒 1 将被測压力 p 变换为膜盒中心的撓度 w (綫位移)。然后膜盒中心的位移被傳遞到第二个元件，即傳动放大机构 2 上，而它将綫位移 w 变换为在电位計 4 上滑动的电刷 3 的角位移 s 。第三个元件是电位計 4，它将电刷的角位移 s 变换为电阻比值 R_x/R_y 的变化。这个比值的变化就引起电路 (仪表的第四个元件) 中电流的变化，同时使电流比計的綫框 5 和 6 中的电流比值改变。最后，在第五个元件 (电流比計) 中，电流比值的改变引起活动系統 (磁鉄 7) 的位

移，这样就使与其连接在一起的仪表指针转动。为了便于对仪表进行研究和计算，按照功用将仪表分为若干个独立环节[●]。而这些环节的綜合可实现将被测量转换为指针位移所需要的变换。

在测量过程中用来变换被测量的环节称为测量环节。組成仪表的所有测量环节的总和称为测量鏈。仪表测量鏈的示意图以及由仪表的测量环节所变换的物理量，統称为仪表結構图。上述仪表的結構图，如图1.16所示。根据变换特性，测量环节可分为三种基本类型：1) 敏感元件；2) 傳动放大机构；3) 电測綫路。

敏感元件直接感受輸入的被測物理量，并将它变换为另一种物理量。在自动学和仪器制造业中，将机械量变换为电量的敏感元件，通常称为电气傳感器或称为傳感器[●]。将机械量变换为电路参数(例如有效电阻、感抗、容抗的变化)的傳感器，称为参数傳感器。将非电量变换为电动势的傳感称为发电式傳感器。上述仪表中的电位計都属于参数傳感器。

傳动放大机构是将机械量(位移、速度、力等)从一个测量环节傳遞到另一个测量环节的仪表元件(环节)。

电測綫路是将一个电量变换为另一个电量的仪表元件。

§3 航空仪表的工作条件

由于仪表的功用及其在飞机上安装部位的不同(例如，在敞开式或密封式座艙里，在仪表板上，在机翼上或在机身上，在发动机上，在迎面气流中等)，仪表的使用条件是极不相同的。

大多数航空仪表的工作条件的最大特点是：溫度变化范围很大，空气的压力、密度和湿度时常变化，有振动和冲击，可能工作于任何状态等。

● Д. А. 布拉斯拉夫斯基, С. С. 罗古諾夫, Д. С. 別里包尔著“航空仪表的计算和結構”，国防工业出版社1955年版。

● 必須指出，在复杂的航空仪表和自动控制系统中，将由好些元件組成的整个测量装置称为傳感器。例如，“角速度傳感器”，“高度傳感器”等。

空气的温度 飞行时空气的温度可能在 -60°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 之间变化，而在某些情况下温度的变化范围更广。周围环境温度的变化可能是仪表读数出现误差的原因。这些误差可能是由于仪表零件的线性尺寸改变、很大的热应力引起零件变形、材料的物理性能（如敏感元件的弹性、导线的电导率、磁铁和导磁体的磁性等）改变等原因所引起的。

空气的压力和密度 随着飞行高度的改变，空气的密度将会变化。这对某些仪表的工作有不良影响，使其工作精度和可靠性下降。为了消除这种现象对仪表元件工作的影响，可将它们放在充满氮气或氢气的密封壳体内，这样壳体内部的气体密度可保持不变。

空气的湿度 湿气会引起仪表零件，尤其是钢制零件加快腐蚀；亦会使吸水性的材料受潮时膨胀，而以后干枯时发生龟裂。湿气从绝缘材料的孔隙中渗入，就会降低绝缘质量，因而使参数（例如，电容器、电阻器和仪表其它部件的参数）发生变化。

振动和冲击 当飞机作机动飞行时，安装在飞机上的仪表将承受振动和过载。此外，当飞机起飞、着陆和滑行时，飞机上的设备亦将承受过载很大的颠簸和冲击。振动和冲击将使仪表的使用期限缩短，且可能引起读数误差。作用在飞机上的过载，其中包括由于振动产生的过载，是以重力加速度 g 为计量单位的。在谐振的情况下，过载量 j 可由下列公式计算：

$$j = \frac{4\pi^2 f^2 a}{9810} \text{ 或 } j \approx \frac{f^2 a \bullet}{250},$$

式中 a ——位移振幅(毫米)；

f ——振动频率(赫芝)；

● 所谓振动过载乃是最大的振动加速度绝对值与重力加速度 g 之比值。设振动位移为 $x = a \sin 2\pi ft$ ，则 $\frac{d^2x}{dt^2} = -4\pi^2 f^2 a \sin 2\pi ft = \ddot{x}$ ，取 $|\ddot{x}| =$

$$4\pi^2 f^2 a, \text{ 则 } j = \frac{|\ddot{x}|}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 a}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 a}{9810}. \text{ ——译者注}$$

j ——过载，以重力加速度 g 为单位。

因为飞机作机动飞行时仪表可能在空间处于任意状态，所以还要求仪表处在任意状态下都能保持其工作能力。

§4 对仪表元件总的技术要求

对航空仪表元件的基本要求有：

- 1) 在过载和振动很大的条件下，能正常地工作；
- 2) 具有所需要的精确度和灵敏度；
- 3) 所给定的特性(输出量与输入量之间的关系) 稳定；
- 4) 滞后小或无滞后；
- 5) 时间特性稳定；
- 6) 具有互换性；
- 7) 重量轻、外廓尺寸小；
- 8) 有确定的动态特性(时间常数小、活动系统能很快地阻尼等)；
- 9) 工作性能与外界条件(如空气温度、湿度和密度)的作用无关；
- 10) 对其它仪表、无线电台及飞行器的其它设备的工作影响不大；
- 11) 对于被测介质和周围环境的化学、机械、热力和电力等方面的作用要稳定；
- 12) 能防火、防爆以及使用安全；
- 13) 结构简单，工艺性好；
- 14) 使用和检验简便；
- 15) 工作的可靠性与仪表所处的空间状态无关；
- 16) 成本低廉。

第二章 敏感元件 (傳感器)

§5 敏感元件的特性和分类

靜特性和灵敏度是敏感元件(傳感器)的基本特性。

当輸出量和輸入量都为稳态值时, 它們之間的关系称为敏感元件的靜特性, 即

$$A_{\text{ВЫХ}} = f(A_{\text{ВХ}}), \quad (2.1)$$

式中 $A_{\text{ВЫХ}}$ ——輸出量;

$A_{\text{ВХ}}$ ——輸入量。

以后这个关系就簡称为敏感元件的特性。輸出量增量(变化) $\Delta A_{\text{ВЫХ}}$ 与引起这个变化的輸入量增量 $\Delta A_{\text{ВХ}}$ 之比, 称为敏感元件的灵敏度。灵敏度等于

$$S = \frac{\Delta A_{\text{ВЫХ}}}{\Delta A_{\text{ВХ}}}, \quad (2.2)$$

或当 $\Delta A_{\text{ВХ}} \rightarrow 0$ 时, 得到

$$S = \lim_{\Delta A_{\text{ВХ}} \rightarrow 0} \frac{\Delta A_{\text{ВЫХ}}}{\Delta A_{\text{ВХ}}} = \frac{dA_{\text{ВЫХ}}}{dA_{\text{ВХ}}}. \quad (2.3)$$

有时以相对灵敏度表示敏感元件的特性。所謂相对灵敏度, 就是輸出量的相对增量 $\frac{\Delta A_{\text{ВЫХ}}}{A_{\text{ВЫХ}}}$ 与相应的輸入量的相对增量

$\frac{\Delta A_{\text{ВХ}}}{A_{\text{ВХ}}}$ 之比, 即

$$S' = \frac{\Delta A_{\text{ВЫХ}}}{A_{\text{ВЫХ}}} \bigg/ \frac{\Delta A_{\text{ВХ}}}{A_{\text{ВХ}}} = \frac{\Delta A_{\text{ВЫХ}}}{\Delta A_{\text{ВХ}}} \bigg/ \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{A_{\text{ВХ}}}, \quad (2.4)$$

或当 $\Delta A_{BX} \rightarrow 0$ 时, 得到

$$S' = \lim_{\Delta A_{BX} \rightarrow 0} \frac{\Delta A_{BHX}}{\Delta A_{BX}} \bigg/ \frac{A_{BHX}}{A_{BX}} \\ = \frac{dA_{BHX}}{dA_{BX}} \bigg/ \frac{A_{BHX}}{A_{BX}} \quad (2.5)$$

相对灵敏度是无因次的量, 因而它与 A_{BHX} 和 A_{BX} 的因次无关。当测定被测量的相对变化时, 敏感元件的特性就需要用相对灵敏度来表示。

此外, 敏感元件的特性还可以用输出信号的最大功率、输入信号的最大功率以及与敏感元件类型有关的其它量来表示。

敏感元件在被测量变动的情况下 (也就是在动态下) 的工作, 用动态特性来鉴定它。在动态下工作的基本要求之一是保证惯性足够小[●]。

航空仪表中使用各种不同的敏感元件, 其工作原理都建立在各个物理学定律的基础上。

因为敏感元件的特性是由确定的输入参数和输出参数表示的, 所以可按照所有的输入参数和输出参数的特征将其分类。

表2.1是将敏感元件按输入参数和输出参数的特性来分类的。作为输入参数的有: 位移, 速度, 加速度, 力, 力矩, 液压或气压, 液体或气体的流速, 流量, 温度, 电流等。输出参数的分类与此类似。表中水平各行相当于确定的输入参数, 垂直各行相当于输出参数。格子中的简图表示将输入参数 (水平行所对应的) 变换为输出参数 (垂直行所对应的) 的敏感元件。在有些格子中同时有几个敏感元件, 这表示将此输入参数变换为某一输出参数可分别采用几种不同类型 (甚至工作原理亦不相同) 的敏感元件。

表2.1是表2.2中所列的敏感元件的明细表。表2.1中元件的序号与表2.2格子中敏感元件的编号相对应。用星号标出的格子所对应的参数, 是由传动放大机构变换的。

● 即要求敏感元件反应动作迅速。——译者注

表2.1 敏感元件明細表 (与表2.2对照使用)

与表 2.2 中相应的 元件序号	敏感元件 (傳感器)	輸 入 參 数	輸 出 參 数
1, 2	彈 簧	a) 綫位移或角 位移 b) 力或力矩	a) 力或力矩 b) 綫位移或角 位移
3	气压式傳感器 (例如由閥 門控制的噴嘴) 或射流管	綫位移或角位移	压力或压力差
4	变阻器式 (电位計式) 傳感器	綫位移或角位移	电阻
5	張絲式傳感器	綫位移	电阻
6	电解式傳感器	綫位移或角位移	电阻
7	光电管	綫位移或角位移	a) 电阻 b) 电动势
8	輻射热測量計式傳感器	綫位移或角位移	电阻
9	电子管式傳感器	綫位移或角位移	电阻
10	感应式傳感器	綫位移或角位移	电感
11	磁同步器式傳感器	綫位移或角位移	电感
12	变压器式傳感器	綫位移或角位移	互感
13, 14	电容式傳感器	綫位移或角位移	电容
15	离心裝置	角速度	力或力矩
16	空气阻尼器 液体阻尼器	a) 綫速度或角 速度 b) 力或力矩	a) 力或力矩 b) 綫速度或角 速度
17	磁性阻尼器	a) 綫速度或角 速度 b) 力或力矩	a) 力或力矩 b) 綫速度或角 速度
18	两自由度陀螺	角速度	力矩
19	气压泵和液压泵	綫速度或角速度	压力
20	交流測速发电机	綫速度或角速度	电动势

与表 2.2 中相应的 元件序号	敏感元件 (傳感器)	輸 入 參 數	輸 出 參 數
21	直流測速发电机	角速度	电动势
22	慣性敏感元件	綫加速度或角加 速度	力或力矩
23	三自由度陀螺	力矩	角速度
24	活塞式作动筒或波紋管	a) 力 b) 压力	a) 压力 b) 力
25	炭柱	力	电阻
26	磁性彈性元件	力	自感
27	压电元件	力	电动势
28, 29, 30	压力式和真空式彈性敏感 元件 (膜盒, 波紋管, 管彈 簧)	压力或压力表	位移和力
31	电阻式压力表傳感器	压力	电阻
32	热电式压力表傳感器	压力	电阻
33	燃料表傳感器 (「流量 計」)	气体和液体的流 量	位移
34	風速表傳感器 (「叶輪」)	液体或气体的流 速或流量	角速度
35, 36	动液压式傳感器	流速或流量	力或力矩
37	全压受感部 (气体动压傳 感器)	流速	压力
38, 39	阻流式傳感器 (文氏管, 阻流圈, 噴嘴)	液体或气体的流 速	压力差
40	輻射热測量計式傳感器	液体或气体的流 速	电阻
41	膨脹計式傳感器	溫度	位移
42	双金屬热敏元件	溫度	位移
43, 44	液压热敏元件	溫度	位移
45	气体热敏元件	溫度	压力

与表 2.2 中相应的 元件序号	敏感元件 (傳感器)	輸 入 參 數	輸 出 參 數
46	蒸气压热敏元件	溫度	压力
47	电阻溫度計式傳感器	溫度	电阻
48	热敏元件 (热电偶)	溫度	电动势
49, 50	磁电系統	电流	力矩
51	电磁系統	电流	力矩
52	电动系統和鉄磁电动系統	电流	力矩

§ 6 彈性敏感元件

彈性敏感元件是用来将所测的压力或力变换为任何一种机械位移的。属于这类元件的有：彈簧(片簧、盘簧、螺旋彈簧)、膜片和膜盒、波紋管及管彈簧等。

彈性敏感元件的撓度(行程)与引起該撓度的載荷(压力或力)之間的关系，称为彈性敏感元件的特性。彈性敏感元件的撓度或行程应理解为与仪表后續元件有运动联系的元件表面上某点的位移。彈性敏感元件的特性可以用解析式子表示为

$$w = f(p) \quad (2.6)$$

或 $w = f(P), \quad (2.7)$

式中 w ——彈性敏感元件的撓度或行程；
 p ——作用在彈性敏感元件上的压力；
 P ——作用在彈性敏感元件上的力。

这些特性可能是綫性的 (图 2.1 曲綫 1)，或是非綫性的 (曲

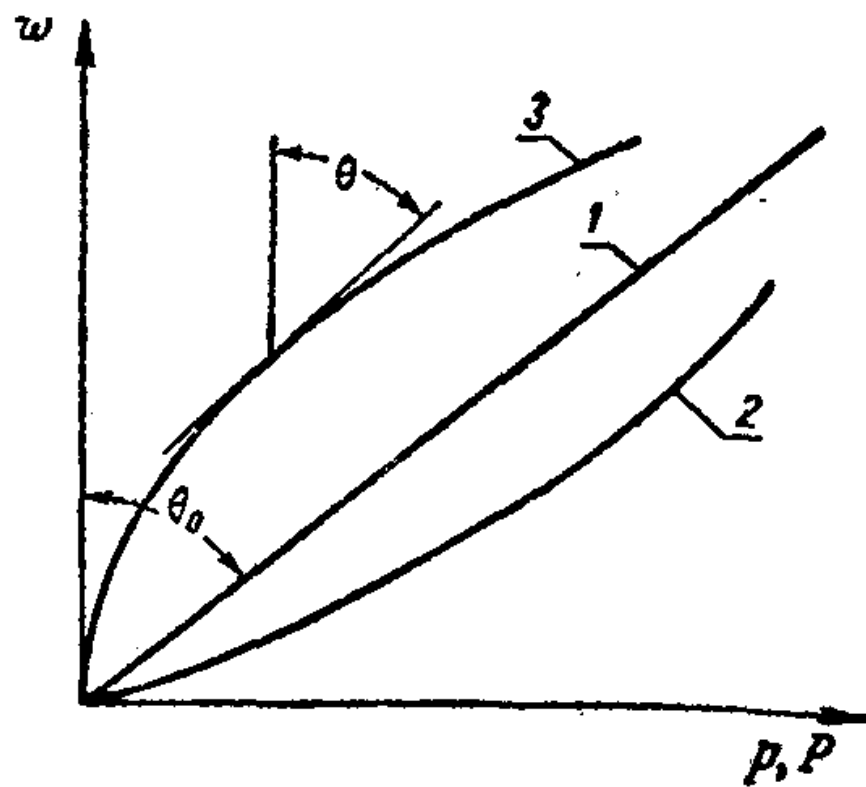


图 2.1 彈性敏感元件的特性綫。